

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra Energetiky

Výrobní teplo kotle bloku 200 MW

Production Heat of a Boiler of a Block of 200MW

Student: Michal Černák

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Ladislav Vilimec

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Černák

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma:

Výrobní teplo kotle bloku 200 MW
Production Heat of a Boiler of a Block of 200 MW

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši zaměřenou na parní kotle s různými typy výparníků
2. Definujte výrobní teplo a stanovte jeho velikost pro různé typy kotlů
3. Analyzujte vliv tlaku páry na jednotlivé části parních kotlů
4. Vypracujte schéma zapojení tlakového systému pro popisovaná provedení kotlů

Seznam doporučené odborné literatury:

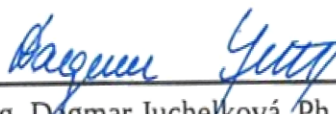
DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. Skripta ČVUT Praha, 2002. ISBN 80-01-02591-8.
VILIMEC, L. *Řízení a regulace energetických zařízení*. Skripta VŠB TU Ostrava, 2008.
ISBN 978-80-248-1853-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ladislav Vilimec**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17. 05. 2013 podpis studenta Černý

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 17.05.2013 podpis 

Jméno a příjmení autora práce: Michal Černák

Adresa trvalého pobytu autora práce: Štúrová ulica 687/44,
Stará Turá 916 01
Slovenská Republika

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ČERNÁK, M. *Výrobní teplo kotle bloku 200 MW: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 33 s. Vedoucí práce: Vilimec, L.

Můj bakalářský projekt z úvodu popisuje rozdělení parních kotlu a následně detailnější popis kotlu podle rozdělení průtoku vody ve výparníku. Dále obsahuje stručný popis elektrárny Dětmarovice. Další kapitola obsahuje definici výrobního tepla kotle a výpočet výrobního tepla podle zadaných parametrů. Na závěr analyzuji vliv tlaku na jednotlivé části parního kotle. V přílohách jsou uvedeny tlakové systémy popisovaných kotlů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ČERNÁK, M. *Production Heat of a boiler of a block of 200 MW: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2013, 33 p. Thesis head: Vilimec. L.

The beginning of my bachelor project describes the distribution of steam boilers and subsequently detailed description of boilers by partitioning the flow of water in the evaporator. Next the work contains a brief description of the power plant Dětmarovice. The next chapter contains the definition of heat production and calculation of production heat of a boiler by the specified parameters. At the end of my thesis I analyze a pressure effect on different parts of the steam boiler. The enclosures contains pressure systems of described boilers.

Obsah:

Přehled veličin.....	7
Výpočtové parametry.....	9
1.Úvod.....	10
2. Dělení parních kotlů podle průtoku ve výparníku.....	11
2.1.Kotel s přirozenou cirkulací vody ve výparníku (bubnový).....	13
2.2.Průtočný kotel.....	16
2.2.1.Kotel průtočný s pohyblivým koncem odpařování(Benson).....	17
2.2.2.Kotel průtočný s pevným koncem odpařování(Sulzer).....	19
3.Elektrárna Dětmarovice.....	21
3.1.Popis výrobního bloku.....	21
3.2. Průtočný kotel Benson v EĎE.....	22
3.3.Schéma voda pára.....	23
4.Výrobní teplo.....	24
4.1.Výpočet výrobního tepla pro průtočný kotel bloku 200 MW.....	27
5.Analýza vlivu tlaku na jednotlivé části parního kotle.....	29
6.Závěr.....	31
Seznam použité literatury.....	32
Seznam příloh.....	33

Přehled veličin:

i_{NV} [kJ/kg] entalpie napájecí vody

i_{mp11} [kJ/kg] entalpie páry na vstupu do mezipřehříváku

i_{mp22} [kJ/kg] entalpie páry na výstupu z mezipřehříváku

i_{pp32} [kJ/kg] entalpie páry na výstupu z přehříváku

i_{VS3} [kJ/kg] entalpie vody vstřikované do přehřáté páry

i_p'' [kJ/kg] entalpie syté páry odebrané z bubnu

i_{VSNT} [kJ/kg] entalpie vstřiku do nízkotlaké páry

i_{VT} [kJ/kg] entalpie vysokotlaké páry

i_{NTVST} [kJ/kg] Entalpie nízkotlaké páry na vstupu do přehříváku

i_{NTVYS} [kJ/kg] entalpie nízkotlaké páry na výstupu z přehříváku

i_W' [kJ/kg] entalpie syté vody odluhované z bubnu

\dot{m}_{NV} [kg/s] množství napájecí vody

\dot{m}_{NTVST} [kg/s] množství nízkotlaké páry na vstupu do přehříváku

\dot{m}_{VSNT} [kg/s] množství vstřiku do nízkotlaké páry

\dot{m}_{NTVYS} [kg/s] množství nízkotlaké páry na výstupu do přehříváku

\dot{m}_{mp1} [kg/s] množství nízkotlaké páry

\dot{m}_{mp2} [kg/s] množství páry v mezipřehříváku

\dot{m}_{ODL} [kg/s] množství odluhované vody z bubnu

\dot{m}_{op} [kg/s] množství odebrané syté páry

\dot{m}_{pp3} [kg/s] průtok ostré páry, resp. parní výkon kotle

\dot{m}_{pal} [kg/s] množství paliva přivedeného do kotle

\dot{m}_{VS3} [kg/s] množství regulační vstřikované vody

\dot{m}_{VT} [kg/s] množství vysokotlaké páry

p_{NV} [Pa] tlak napájecí vody

p_{NTVST} [Pa] tlak nízkotlaké páry na vstupu do přehříváku

$p_{NTVYS}=3,63$ [Pa] tlak nízkotlaké páry na výstupu z přehříváku

p_{VT} [Pa] tlak vysokotlaké páry

$p_{VSNT}=5,53$ [MPa] tlak vstřikované vody

t_{NV} [°C] teplota napájecí vody

t_{NTVST} [°C] teplota nízkotlaké páry na vstupu do přehříváku

t_{NTVYS} [°C] teplota nízkotlaké páry na výstupu z přehříváku

t_{VSNT} [°C] teplota vstřikované vody nízkotlaké páry

t_{VT} [°C] teplota vysokotlaké páry

t_{vz} [°C] vztažná teplota pro výpočet účinnosti kotle

Q_{NV} [kJ/kg_{pal}] teplo přivedené napájecí vodou

Q_{MP1} [kJ/kg_{pal}] teplo přehřívání páry přivedené do kotle

Q_{VS3} [kJ/kg_{pal}] teplo přivedené vstřikovanou vodou do mezipřehřáté páry

Q_{PP} [kJ/kg_{pal}] teplo přehřáté páry ovedené z kotle

Q_{MP2} [kJ/kg_{pal}] teplo přehřáté páry odvedené z kotle

Q_{ODL} [kJ/kg_{pal}] teplo odvedené z kotle odluhem

Q_{VYR} [W] výrobní teplo páry

Výpočové Parametry:

Vysokotlaká pára:

$$\dot{m}_{VT}=650[t. h^{-1}]$$

$$t_{VT}=540[^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{VT}=17,4[\text{MPa}]$$

Napájecí voda:

$$\dot{m}_{NV} = 548,5[t. h^{-1}]$$

$$t_{NV} = 250[^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{NV}=22,1[\text{MPa}]$$

Nízkotlaká pára vstup:

$$t_{NTVST}=337[^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{NTVST}=3,83[\text{MPa}]$$

Nízkotlaká pára výstup:

$$t_{NTVYS}=540[^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{NTVYS}=3,63[\text{MPa}]$$

Vstřík do nízkotlaké páry:

$$\dot{m}_{VST}=31,478[t. h^{-1}]$$

$$t_{VST}=163[^{\circ}\text{C}]$$

$$p_{VST}=5,53[\text{MPa}]$$

1. Uvod

V mé práci se zabývám veličinou výrobní teplo kotle, které je důležité pro výpočet tepelné účinnosti kotle přímou metodou nebo stanovení množství paliva. Výrobní teplo je část vložené energie, která se musí předat do pracovního média(vody a páry) o daných vstupních parametrech, aby se dosáhly jeho požadované výstupní parametry. Výpočet výrobního tepla se liší podle typu výparníku kotle. Výrobní teplo budů počítat podle zadaných vstupních a výstupních parametrů vody a páry využívané jako pracovní médium pro parní kotel, který je vystavěn v Elektrárně Dětmarovice. Jedná se o parní kotel průtočný,typu Benson.

2. Dělení parních kotlů podle průtoku ve výparníku

Tento text je zpracován na základě literatury [2] a [4]

Kotel je zařízení vyrábějící horkou vodu nebo tlakovou páru pro otopné, technologické nebo energetické účely. Kotel lze definovat jako konstrukčně ucelený komplex zařízení pro transformaci primární energie fosilních paliv, nebo energie tzv. druhotných energetických zdrojů palivových nebo tepelných, na tepelnou energii pracovního média, a to vody nebo páry. Podle pracovního média rozdělujeme kotle na:

- Parní kotle
- Horkovodní kotle

Horkovodní kotle slouží k výrobě horké vody o teplotě vyšší než 115°C při tlaku vyšším než 0,17 Mpa. Patří sem kotle skřínový, Plamencový žárotrubný, bubnový, s nuceným průtokem (průtočný).

Dle ČSN 07 0000 je parní kotel definován jako soubor zařízení konstrukčně spojených v jeden celek sloužící k výrobě páry o tlaku vyšším než tlak atmosferický. Vyrobená pára se využívá mimo tohto zařízení. Výrobní teplo se přitom získává spalováním paliva a přivádí se stěnami tlakového systému. Parní kotel se skládá z tlakového systému, kompletního ohniště, vzduchového a spalinového systému. Tlakový systém parního kotle se skládá z těchto tlakových částí: parního kotle, přehříváku páry, ohříváku napájecí vody a spojovacího potrubí mezi těmito částmi. V tlakové části parního kotle se pracovní látka (medium) přeměňuje na sytou páru. Přehřívák páry je tlaková část parního kotle, v níž se sytá pára z parního kotle přeměňuje na páru přehřátou. Ohřívák napájecí vody (ekonomizér) je tlaková část parního kotle, v níž se zvyšuje teplota vody určená k napájení parního kotle (napájecí vody), případně se tato voda i částečně odpařuje. Výhřevná plocha parního kotle je plocha stěn tlakových částí kotle, kterou se přivádí teplo pracovní látky (mediu) a rozumí se jí plocha na straně spalin. Určuje se výpočtem a udává se v m^2 pro každou tlakovou část zvlášť.

Parní kotle se dále dělí podle velikosti vodního obsahu na:

- Velkoprostorové kotle
- Maloprostorové (Vodotrubní kotle)

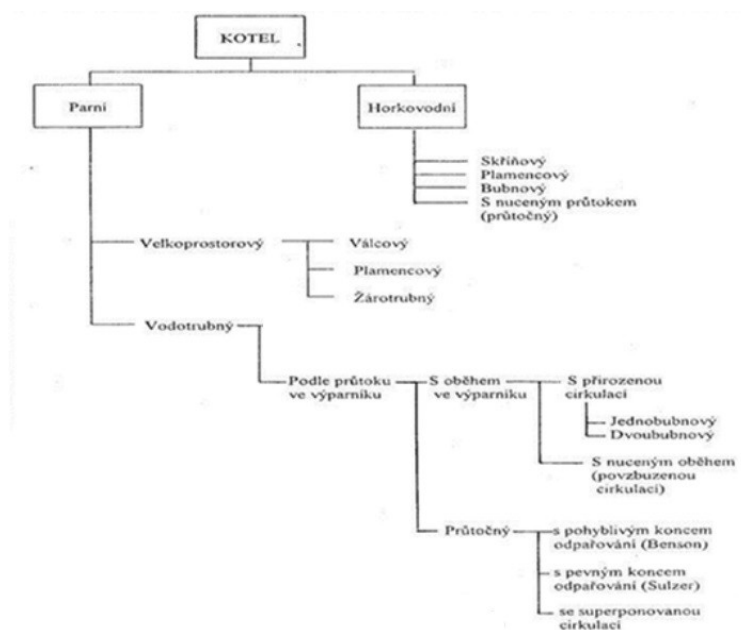
Velkoprostorové kotle - Představují historicky starší konstrukce. Dělí se na válcové, bateriové, plamencové, plamenicové, a žárotrubné.

Vodotrubní kotle umožňují stavbu jednotkových výkoností v rozsahu od nejmenších až do několika tisíc $t \cdot h^{-1}$, tj. pro bloky až do 2000MW a popřípadě i více a umístění maximálního parního výkonu na malé půdorysné ploše a použití velmi vysokých tlaků páry. Podstatným znakem vodotrubných kotlů jsou svazky trubek vytápěných spaliny, ve kterých proudí kotlová voda. Vodotrubní kotle možno kombinovat s ohništi všech typů na paliva kvalitní i méně hodnotná paliva, včetně odpadů. Pracovní tlak páry se může volit od barometrického až do nadkritické oblasti. Výhodou vodotrubných kotlů je jejich provozní pohotovost, tj. Pružnost a rychlá přizpůsobivost změnám výkonu, která je umožněna poměrně malým obsahem kotle. Vodotrubní kotle lze rozdělit dle oběhu vody ve výparníku na kotle:

- s přirozeným oběhem vody ve výparníku(bubnový)
- s nuceným oběhem(povzbuzenou cirkulací)
- průtočné kotle(průtlačné)

Průtočné kotle mají celý tlakový systém sestaven ze svazků dlouhých trubek, v nichž nastává přeměna horké vody v páru, bez výrazných hranic. Delí se na kotle:

- s pohyblivým koncem odpařování(Benson)
- s pevným koncem odpařování(Sulzer)
- typ Ramzin(nevyrábí se)
- se superponovanou cirkulací



Obr.2 schéma dělení kotlů podle výstupního média a provedení výparníku

2.1.Kotel s přirozenou cirkulací vody ve výparníku (bubnový)

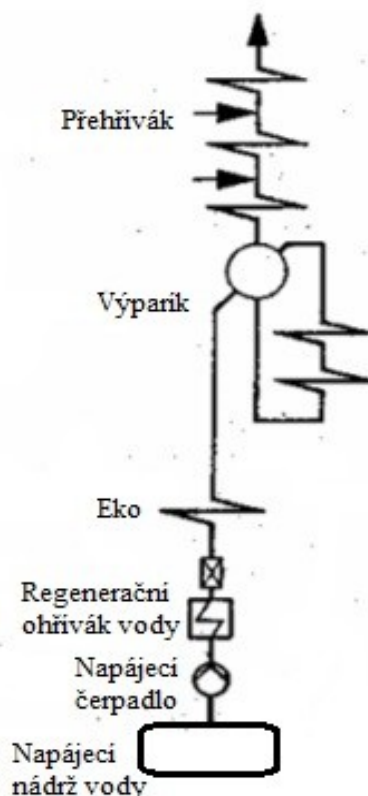
Tento text je zpracován za pomoci literatury [2],[3],[4].

Charakteristický pro tento kotel je výparník s pevným koncem odpařování. Pevný konec odpařování je konstrukčně realizován bubnem kotle. Základním konstrukčním prvkem těchto kotlů je trubka, z trubek jsou vytvořeny výhřevné plochy ve tvaru trubkových svazků a chlazené obvodové stěny kotle. Kotel s přirozenou cirkulací má potřebný přítok vody do jednotlivých trubek výparníku zajištěn tzv. přirozeným oběhem, který je vyvolán rozdílnou hustotou vody a parovodní směsí v systému výparníku. Bubnové kotle mají vysoké akumulační číslo (řádově 10^1 min) a jsou citlivé na změny odběru páry. Kotel s přirozenou cirkulací dokáže zajistit kvalitu páry i při horší kvalitě napájecí vody a zmenšenému vodnímu obsahu kotle odpovídá rychlejší najíždění. Použití výparníku s přirozeným oběhem je omezeno tlakem, v praxi se výparník s přirozenou cirkulací používá do tlaku přibližně 17 MPa a do maximálního parního výkonu 2000 t/h.

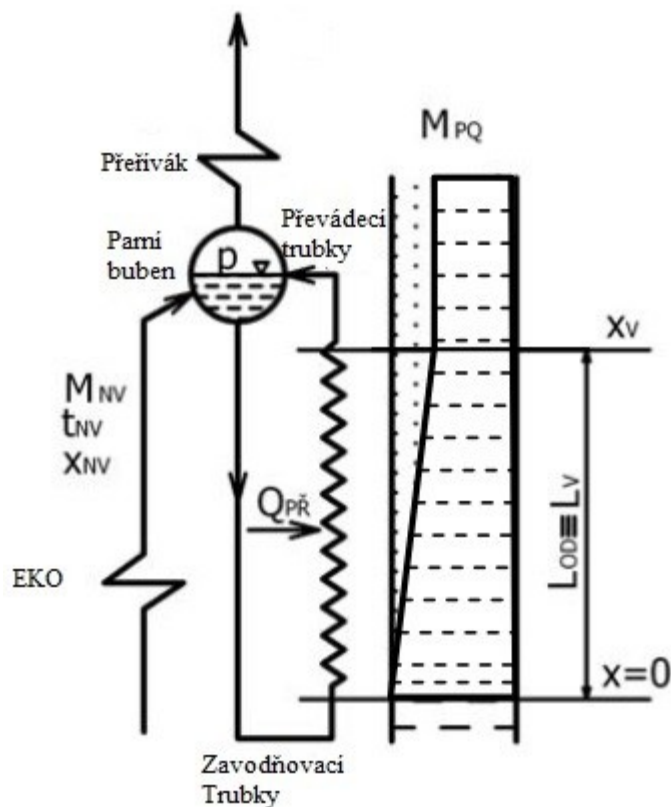
V bubnovém kotli proudí napájecí voda nejdříve ekonomizérem, ve kterém se ohřívá na teplotu blízkou teplotě varu, případně se z části odpařuje. Pohyb vody ekonomizérem je nucený, protože tudy proudí napájecí voda, vtlačena do kotle napáječkou. Napájecí voda ohřátá v ekonomizéru vtéká pak do kotlového bubnu, který je jen z polovice naplněn vodou, a v něm se smíchá s vodou obíhající kotlem. K bubnu jsou připojeny vlastní odpařovací plochy a voda ohřátá v ekonomizéru na teplotu varu, proudí nejdříve z bubnu neokruhovánými spádovými trubkami do spodních komor. Odtud pak proudí do stěn ohniště, sestaveným ze stoupacích trubek, které jsou vystavené sálení plamene v ohništi a prezentují vlastní odpařovací plochu. V ní se voda s částí odpaří a vzniká lehčí směs vody a páry je vytlačena do bubnu vahou sloupce těžší vody v spádových trubkách. Takhle vzniká působením tíhy přirozený oběh vody odpařovacími plochami, který při kotlech s nuceným oběhem je ještě podpořený oběhovým čerpadlem.

Výparník kotle má konstantní velikost teplosměrné plochy, což se musí zohlednit při návrhu kotle a jeho regulaci. Při jednom oběhu vody výparníkem se odpaří jen část vody, takže musí oběhnout několikrát výparníkem než se určité množství zcela odpaří. Oběh vody výparníkem je charakterizován oběhovým číslem O , které lze definovat jako poměr hmotového průtoku vody vstupující do varnice k hmotovému průtoku syté páry vyrobené výparníkem. S rostoucím tlakem vyráběné páry se zmenšuje rozdíl hustoty vody a syté páry a oběhové číslo výparníku se snižuje. Na obr.2.1 je schéma tlakového systému bubnového kotle.

Buben je současně oddelovacím zařízením, ve kterém se oddeluje pára od vody. Uvnitř bubnu jsou vestavby pro separaci vodních kapek z páry. Podle hladiny vody v bubnu se reguluje napájení kotle, kterým se nahrazuje odpařená voda. Ve vodní části bubnu kotle dochází k zahušťování solí obsažených v obíhající kotelní vodě. Aby se dodržela potřebná kvalita páry musí se obsah solí v kotelní vodě udržovat na přípustné hodnotě, a to se provádí odpuštěním části kotelní vody z místa jejího maximálního zahuštění solemi. Táto odpuštěná část zahuštěné kotelní vody se nazývá odluh. Odluh se odebírá těsně pod hladinou vody bubnu a znamená nejen stratu napájecí vody, ale aj tepelnou ztrátu a ztrátu vynaložené napájecí práce. Proto množství odluhované vody nesmí být větší, než je nevyhnutně potřebné a řídí se předpísaným obsahem solí v kotlové vodě. Připojení ohříváku vody je přímo na buben kotle, a k parnímu prostoru bubnu jsou připojeny trubky, odvádějící sytou páru do přehříváku, ve kterém se pára přehřívá na požadovanou teplotu. Průtok páry přehřívákem je opět nucený, a je vyvolaný rozdílem tlaku páry v bubnu a v parním potrubí za přehřívákem. Parný prostor bubnu přerušuje spojitost mezi ohřívákem vody a přehřívákem tak, že tlak napáječky nemá vliv na tlak páry v přehříváku. Na obr.2.1 je schéma tlakového systému bubnového kotle.



Obr.2.1 Schéma kotle s přirozenou cirkulací



Obr.2.2 Schéma výparníku kotle s přirozenou cirkulací

Na obr.2.2 je výparník bubnového kotle, který sestává z parního bubnu, v němž se odlučuje voda od páry a do jehož se přivádí napájecí voda M_{NV} o teplotě t_{NV} a suchosti x_{NV} z ohříváku vody EKO. Z vodního prostoru bubnu se voda na bodu varu, vede systémem zavodňovacích trubek do otápěných varnic o délce L_V . Uvažujeme-li, že na vstupu do varnice má voda teplotu varu, pak délka varnice L_V je totožná s odpařovací délkou L_{OD} . Ve varnici se část vody odpaří, takže na výstupu z varnice vystupuje vždy parovodní směs, tedy směs vody a páry na bodu varu, charakterizovaná suchostí x_V (udává obsah syté páry v 1 kg parovodní směsi), jejíž hodnota je vždy menší než jedna. Parovodní směs z varnic se pak vede systémem převádecích trubek zpět do parního bubnu, v němž se oddělí voda od páry. Sytá pára M_{PQ} vyrobená ve výparníku se pak odvádí z bubnu do přehříváku páry.

2.2.Průtočný kotel

Myšlenka vytvořit průtočný kotel ,který by pozůstával výlučně z trubek malého průměru, vznikla už v 19 století, jenže až před první světovou válkou tento systém přepracoval český inženýr Muller, který se vystěhoval do Anglicka a přijal jméno Benson. Benson později předal své myšlenky německé společnosti Siemens – Schuckert v Erlangene, která Bensonové myšlenky uskutečnila. Po První světové válce vzniká průtočný kotel nezávisle aj v ZSSR, kde jeho tvorcem je prof. Ramzin, a ve Švýcarsku u firmy Sulzer.

Základní myšlenka průtočného kotle spočívá v tom, že ohřev vody na bod varu, odpaření vody a přehřátí vyrobené páry je soustředěno do jedné trubky, do které se na vstupu přivádí napájecí voda a z výstupu se odvádí přehřátá pára. V průtočném kotli se pracovní látka přetlačí pomocí napáječky tak, že její pohyb je v celém kotli vynucený. Proto se průtočný kotel někdy nazývá i kotel průtlaký. Průtočný systém nemá buben, který je hlavně u vysokotlakých kotlu drahá, těžká a technologicky náročná součást.

Hlavním důvodem pro širší zavázení průtočných kotlu je dnes především úsilí po zvýšení parametru páry až do nadkritické oblasti s cílem umožnit přeměnu tepla v elektrickou energii s největší možnou účinností. Zvyšovat tlak kotle na vyše 17 Mpa možno jenom při nuceném průtoku vody. Kotel s přirozeným oběhem, ani kotel s nuceným oběhem vody neumožňoval vystupování páry do blízkosti kritického tlaku (22,5 MPa), to proto, že oblasti vysokých tlaků při prudkých tepelných tocích stěnami trubek nastává ve varnicích blanový var vody (protiklad k obvyklému bublinkovému varu). Táto blána je příčinou nadměrného zvýšení teploty stěn trubek už při poměrně malých obsahech páry směsi páry a vody,především při tlakech blízkých kritickému tlaku.Přitom pozorujeme, že zvýšení teploty steny značne závisí od rychlosti vody na začátku varnice. Z rostoucím tlakem se současně zmenšuje rozdíl měrných hmotností vody a páry, který je příčinou vztlaku ve svislých varnicích a rychlost proudění klesá. Výpočtem možno dokázat, že při obvyklých rychlostech vody vo varnicích asi $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ je hranice použitelnosti oběhu při tlaku asi 18,0 MPa.

Konstrukčně se průtočný kotel liší od bubnového především tím, že odpařovací plocha s mnohonásobným oběhem vody je nahrazená odpařovací plochou, kterou opařovaná voda přetéká jenom jednou. Ohřívací, odpařovací a přehřívací části trubky nejsou od sebe nijako oddelené, t.j. nejsou mezi nimi pevné hranice, čili jednotlivé části tlakového systému navzájem na sebe navazují. Záchatek odpařování je v průtčném kotli obvykle na začátku jeho sálavého výparníku, lebo v ekonomizéri se voda ohřívá

jenom na teplotu blízkou bodu varu. Konec odpařování bývá až v přechodníku zařazeným za sálavým výparníkem. Tak začátek, jako i konec odpařování nejsou vázané na určité, stálé místa, mění se s výkonem kotle, změnou teploty napájecí vody, struskování stěn ohniště apod. Obvykle s klesajícím výkonem kotle začátek a konec odpařování se vzdalují od konce kotle, t.j. poměrná délka hadů, tvořících ohříváč vody a výparník se skrácuje.

Rozdíl je i v jakosti páry vstupující do přehříváku, zatímco u bubnových kotlu buben jasně odděluje sytou páru a vodu, a do přehříváku vstupuje sytá pára zbavená vlhkosti, u průtočných kotlu z výparníku vystupuje mírně přehřátá pára. Pára vyrobená ve výparníku a přechodníku se přehřívá ve dvoustupňovém přehříváku a její teplota se reguluje vstřikem napájecí vody.

U průtočného kotle odpadá regulace hladiny v bubnu a kotel se reguluje tak, že se trvale udržuje stálý poměr mezi průtokem vody napájené do kotle a tepelným výkonem ohniště. Jenom tak možno udržet stálý tlak a teplotu ostré páry dodávané kotlem. Průtočný kotel nemožno odluhovat, a proto všechny soli, které se dostanou do kotle, musí odejít s párou, nebo se usadí v kotli. Jenom při obměně průtočného kotle odlučovačem možno část solí odvést odluhem, proto se u průtočných kotlu musí použít demineralizovaná napájecí voda.

2.2.1 Kotel průtočný s pohyblivým koncem odpařování (Benson)

Tento text je zpracován za pomoci literatury [2],[3],[4].

Základní myšlenkou vynálezu Bensonova kotle bylo vyrobení páry při nadkritickém tlaku, a to v kotli bez bubnu. Vynálezce se tím chtěl vyhnout oblasti mokré páry s vědomím, že při nadkritických tlacích existuje pouze jedna fáze. Voda v místě fázové změny zde přechází na páru bez náhlé změny objemu, která je charakteristická při podkritických tlacích. Vyloučením oblasti mokré páry chtěl vynálezce zabránit usazování solí v kotli, protože k většině solí se nadkritická fáze chová jako rozpouštědlo. Tím, že opadá oblast mokré páry, ulehčilo se rozmístění výhřevných ploch v kotli a trubky bylo možné vinout libovolným způsobem. V této své původní koncepci se Bensonův kotel uplatňuje většinou až dodnes. V době svého vzniku nebylo ještě dost prostředků k uskutečnění provozu s nadkritickým tlakem do všech důsledků. Proto se nadkritický tlak v kotli škrtil za výparníkem na nižší tlak a až tato zeškrcená pára po průchodu přehřívákem poháněla turbínu.

Po konstrukční stránce se původní Bensonuv kotel, liší od kotlů s přirozenou cirkulací jen v té části tlakového systému, kde probíhá odpařování. Výparník Bensonova kotle sestává z většího počtu za sebou řazených trubkových sekcí (dnes se nejčastěji používá šroubovitě provedení stěn, tzn. že celý svazek paralelních trubek stoupá po celé výšce výparníku), které se skládají ze vstupní a výstupní komory a mezi ně zařazené skupiny paralelních svislých trubek. Přejít od jedné sekce k druhé tvoří spádové trubky. Tyto sekce jsou zpravidla umístěny na stěnách ohniště kotle. Sériovým uspořádáním sekcí trubek se má zajistit stabilní proudění směsi vody a páry. Při nestabilním proudění má toto uspořádání zabránit poškození trubek. Rozdělení výparníku na sekce má však své nevýhody, zejména v oblasti malých výkonů kotle. Když se očekává, že kotel bude často provozován s malým výkonem, musí se nestabilitě předejít velkými rychlostmi směsi ve trubkách, což všude znamená zvětšenou tlakovou ztrátu v kotli při plném výkonu.

Na mnoha tehdejších Bensonových kotlích se odpařování dokončuje v přechodníku, do kterého proudí mokrá pára obsahující ještě asi 20% vlhkosti. Přechodník nazýváme teplosměnnou plochu, umístěnou obvykle v zadním tahu kotle, kde už teplota spalin není příliš vysoká a přestup tepla probíhá zejména konvekcí. Malými tepelnými toky stěnou přechodníku má zaručit jejich nízká teplota i tehdy, když soli odloučené ke konci odpařování vytvořili na nich tepelně nevodivé nánosy. Na dnes budovaných

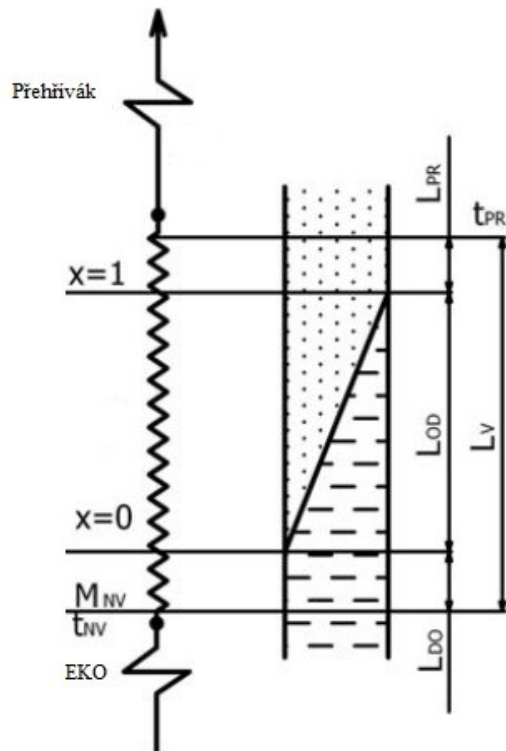
Bensonových kotlích se však přechodník často vynechává a odpařování se dokončuje v sálavém výparníku. Je to umožněno demineralizovanou napájecí vodou, a díky tomu nebezpečí usazování solí.

Na obr.2.2.1 je schéma výparníku s pohyblivým koncem odpařování vody ve výparníku, který je tvořen pouze soustavou paralelních varnic, které jsou na vstupu i výstupu připojeny ke společné rozdělovací a sběrné komoře, takže tlak na vstupu i výstupu ze všech varnic stejný. Do výparníku vstupuje voda z ohříváku vody EKO, který je vždy konstruován tak, aby teplota vody t_{NV} byla nižší než je teplota varu vody. Na otápné délce varnice L_V lze vymezit tři úseky:

- dohřívací L_{DO} - v této části varnice se přivedená voda dohřeje z teploty t_{NV} na teplotu varu, suchost v tomto místě je $x=0$;
- odpařovací L_{OD} - v této části proběhne odpaření veškeré vody na sytou páru, suchost $x=1$;

- přehřívací L_{PR} - v této části se sytá pára přehřívá na teplotu, která je např. o 15°C vyšší než je teplota sytosti

Na výstupu z tohoto výparníku je vždy mírně přehřátá pára, která se pak vede do přehříváku páry.



Obr.2.2.1 schéma výparníku s pohyblivým koncem odpařování(Benson)

2.2.2.Kotel průtočný s pevným koncem odpařování(Sulzer)

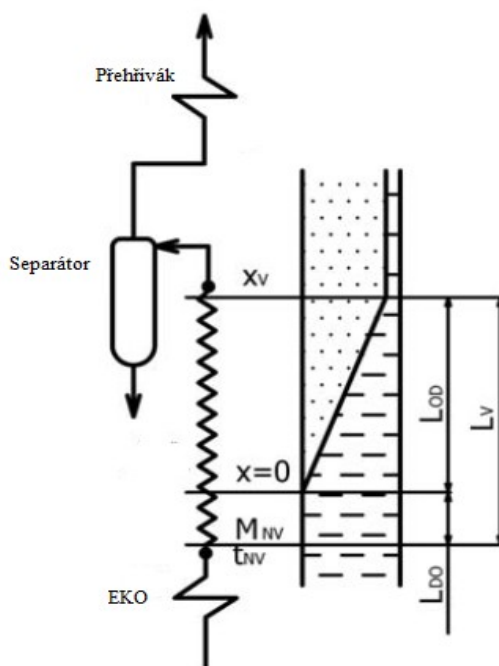
Výparník původního kotle Sulzer sestává z několika paralelně zapojených trubek většího průměru(63 až 70 mm). Na rozdíl od Bensonova kotle nejsou tyto trubky soustředěny v sekcích, ale probíhají souvisle celým výparníkem, který má tedy pouze vstupní a výstupní komory. I zde jsou varnice umístěny na stěnách topeniště a v pásech jsou meandrovitě vinuté těsně vedle sebe v rovině stěny. Meandry sestávají z vodorovných svislých nebo šikmých trubek tak, že výparník lze v ohništi rozmístit podle potřeby. Dnes se již meandrovitě vinutý výparník nepoužívá.

Směs vody a páry proudí v trubkách, na rozdíl od Bensonova kotle, směrem nahoru i dolů. Počet vedle sebe řazených várnice je obvykle dán výkonem kotle. Aby se dosáhlo stabilní proudění, navazují varnice na trubky ekonomizéru, a kotel má dobrou stabilitu proudění i při malých výkonech. Na tomto typu kotle se používá sparátor vlhkosti. Napájení kotle se reguluje tak, aby z výparníku vystupovala vlhká pára s obsahem

4-5% vlhkosti. Tato vlhkost, ve které je soustředěna většina soli, se odvádí ze separátoru jako odluh kotle. Kotel proto nepotřebuje přechodník. V separátoru se udržuje určitá hladina vody, podobně jako u bubnových kotlů v bubnu. Separátor lze použít pouze na kotlích provozovaných s podkritickým tlakem, v nichž existuje plynná a kapalná fáze. Dnes, při napájení kotlů demineralizovanou vodou se již odluh v tomto smyslu nepoužívá.

Sytá pára vystupující ze separátoru se odvádí do přehříváku. Na rozdíl od Bensonova kotle, na němž se konec odpařování může posouvat s měnícím se výkonem kotle, je na Sulzerovom kotli začátek přehříváku daný umístěním separátoru tak, že dosažení konstantní teploty páry je vázáno na plochou charakteristiku přehříváku, podobně jako u bubnových kotlů.

Na obr.2.2.3 je průtočný výparník s pevným koncem odpařování, který sestává ze soustavy paralelních varnic a ze separátoru k němuž jsou varnice připojeny a v němž se odlučuje voda od páry. Do výparníku vstupuje voda z ohříváku vody EKO, která má opět nižší teplotu než je teplota varu vody. Otápenou délku varnice L_V lze rozdelit na část dohřívací L_{DO} , v níž se voda ohřeje na teplotu varu ($x=0$) a na část odpařovací L_{OD} , v níž se odpaří takřka veškerá voda, takže z varnice vystupuje parovodní směs s vysokou suchostí např. $x_V=0,95$. V separátoru se voda (5 %) odloučí a vrací se zpět do okruhu např. na úpravu vody. Odloučená pára (95 %) se vede do přehříváku páry. Na výstupu z varnic u tohoto výparníku je vždy parovodní směs s vysokou suchostí.



Obr.2.2.2 schéma výparníku s pevným koncem odpařování(Sulzer)

3. Elektrárna Dětmorovice

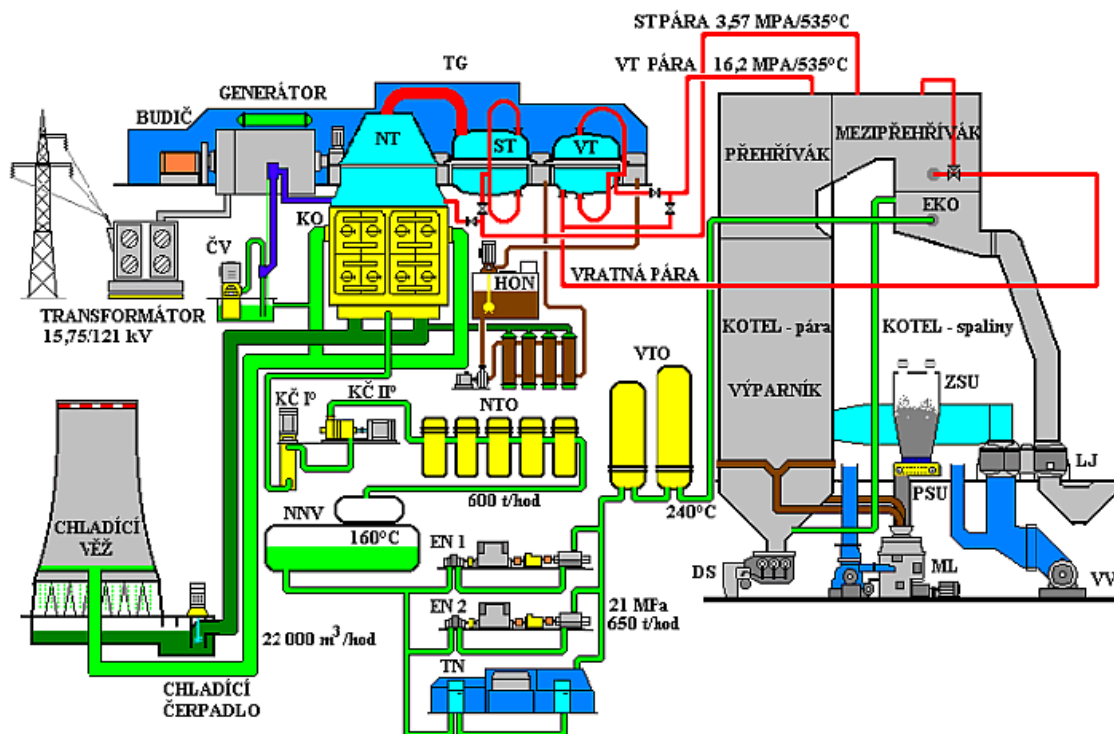
Údaje o Elektrárně Dětmorovice byly získány z internetových stránek a firemních materiálů společnosti ČEZ a.s [6]

Elektrárna se stavěla v letech 1972 až 1976, generálním projektantem stavby byl Energoprojekt Praha, stavbu provedla firma VOKD Ostrava a dodavatelem technologie byla Škoda Plzeň. Elektrárna Dětmorovice(EDĚ) je největší klasickou uhelnou elektrárnou na moravě a s instalovaným výkonem 800 MW je nejvýkonnější elektrárnou spalující černé uhlí v České republice. Nachází se poblíž Ostravy, u obce Dětmorovice v Moravskoslezském kraji, v těsné blízkosti polských hranic. Umístění elektrárny bylo zvoleno s ohledem na blízkost černouhelných dolů Ostravsko-karvinského revíru. Původně patřila do svazku Ostravsko-karvinských elektráren, ale od roku 1990 je samostatnou organizační jednotkou.

3.1. Popis výrobního bloku

V elektrárně jsou 4 výrobní bloky, výrobní blok je složen z turbogenerátoru a kotle, každý blok o elektrickém výkonu 200MW. Tento výkon je distribuován do okolních rozvodů velmi vysokého napětí. V kotli se spaluje uhlí z Ostravsko karvinské pánve, s průměrnou výhřevností $22 \text{ MJ/kg}_{\text{uhlí}}$, ale po roce 2000 se začalo v menší míře využívat také hnědé uhlí ze severozápadních Čech a také začaly dodávky levnějšího černého uhlí z Polska. Denní spotřeba uhlí je cca 1600 tun uhlí pro jeden blok, což je zhruba 32 železničních vagónů. Uhlí se rozele na velmi jemnou frakci, a spaluje se ve celkem 4 kotlích které vyrobí 650 t.hod^{-1} páry. Hlavní generátor vyrábí elektřinu o napětí 15,75kV, a tá je pro přenosové účely transformována na úroveň 110 kV. Strojovna elektrárny je osazena čtyřmi turbínami s jmenovitým výkonem 200MW a jmenovitými otáčkami 3000/min. Vstupní parametry páry jsou 16,18MP a 535°C, teplota přehřáté páry je rovněž 535°C. Elektrárna je chlazena vodou z řeky Olše. Spaliny procházejí několika zařízeními pro snižování emisí, a to odstranění oxidů dusíku, oxidů síry a popílku.. Účinnost těchto zařízení je sledována a podléhá pravidelným kontrolám orgánu státní správy a ochrany životního prostředí. Elektrárna splňuje ISO 1400 a obdržela certifikát Systém environmentálního managementu. Výroba elektrické energie a tepla v jednom cyklu, tzv kogenerace, snižuje spotřebu paliva na vyrobenou jednotku energie a šetří tím životní prostředí. Elektrárna v topné sezoně 2010/2011 vyrobila 660 TJ tepla, z toho 420 TJ se dodalo do asi devíti tisícovek bytů v Orlové, dalších 70 TJ vyrobeného tepla směřovalo do asi tři tisícovek bytů a městských objektů v Bohumíně, zbývajících více než 100 TJ tepla zásobovalo odběratele v okolí elektrárny.

Na obr.3.1. je znázorněno schéma zapojení výrobního bloku EĎE.



Obr 3.1.Schéma zapojení výrobního bloku

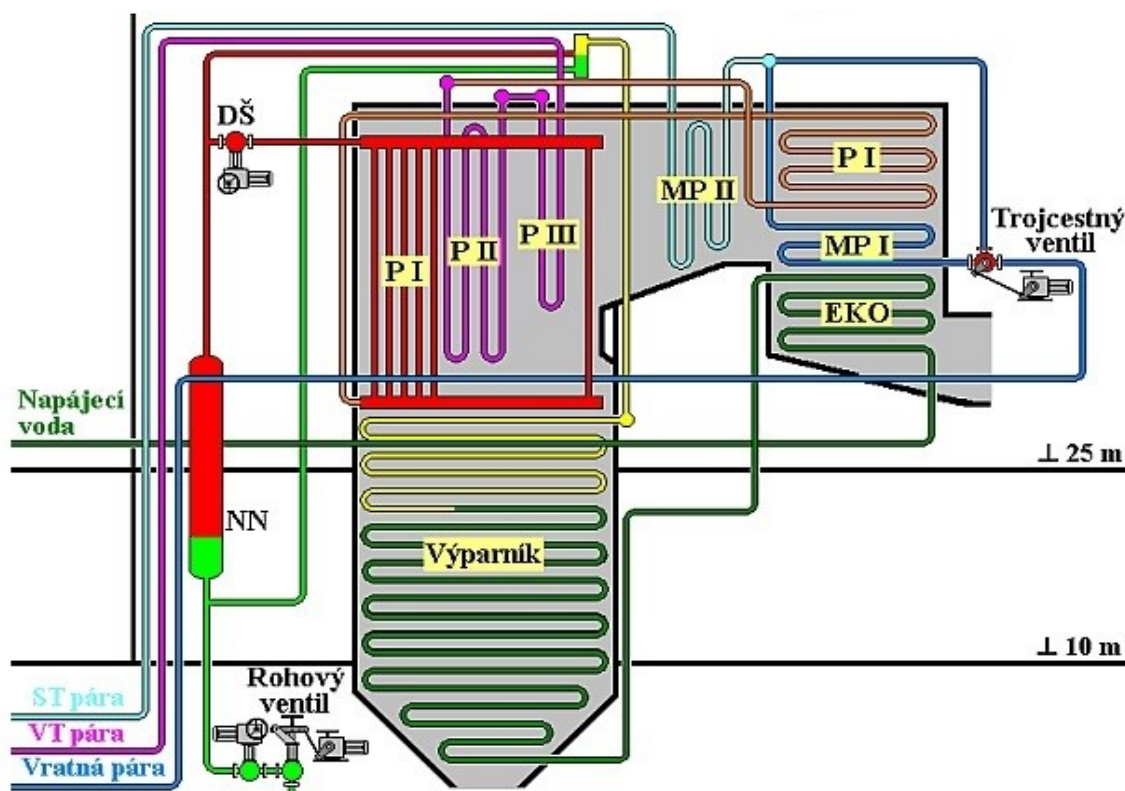
3.2.Průtočný kotel Benson v EĎE

Kotle jsou izolovány minerální plstí a oplechovány. Kotel benson patří mezi parní kotle, vodotrubné, průtočné s pohyblivým koncem odpařování. Je dvoutahový, svislý s podstavou 11x12m. Nejvyšší teplota v spalovací komoře je 1450 °C. Spalovací komora je v horní části zúžená nosem, vytvořeným z trubek vstupní části přehříváku. V každém rohu spalovací komory jsou umístěny 4 práškové hořáky, ve výšce 18m. Osy práškových hořáků směřují tangenciálně k pomyslné kružnici ve středu spalovací komory. Každý kotel má vlastní přípravu paliva pro mletí a sušení, která se skládá ze čtyř mlecích okruhů s kroužkovými mlýny o výkonu $9,15 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ a ventilátoru na těsnící vzduch. Sušicím médiem je horký vzduch. Na jeden práškový hořák připadá jeden kroužkový mlýn, jenž je schopen rozemlít Ostravský hruboprach na velikost menší než 0,2mm. Pro jmenovitý výkon $650 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$ stačí tři mlýny, jeden slouží jako záloha. Pod práškovým hořákem je umístěn hořák na zemní plyn, jež slouží k najetí kotle, zapalování je elektrické. V zadní části kotle je umístěn regenerativní ohřívák vzduchu typu Ljungström. Každý kotel má čtyři elektrostatické odlučovače typu Lurgi a dva kouřové ventilátory. Odsiřovací zařízení firmy Mitsubishi sestává ze dvou absorbérů. Jeden absorbér slouží vždy pro dva výrobní bloky. Spalovací vzduch je nasáván dvěma

vzduchovými ventilátory ,buď zvenku nebo zevnitř kotelny a přes parní ohřívák vzduchu a rotační regenerační ohřívák Ljungström je dopravován do hořáku a do mlýnu.Kotel zaručuje provoz v regulačním rozsahu 60-100% jmenovitého výkonu, což představuje výrobu 120-200MWe na každém ze 4 bloků.

3.3.Schéma voda-pára

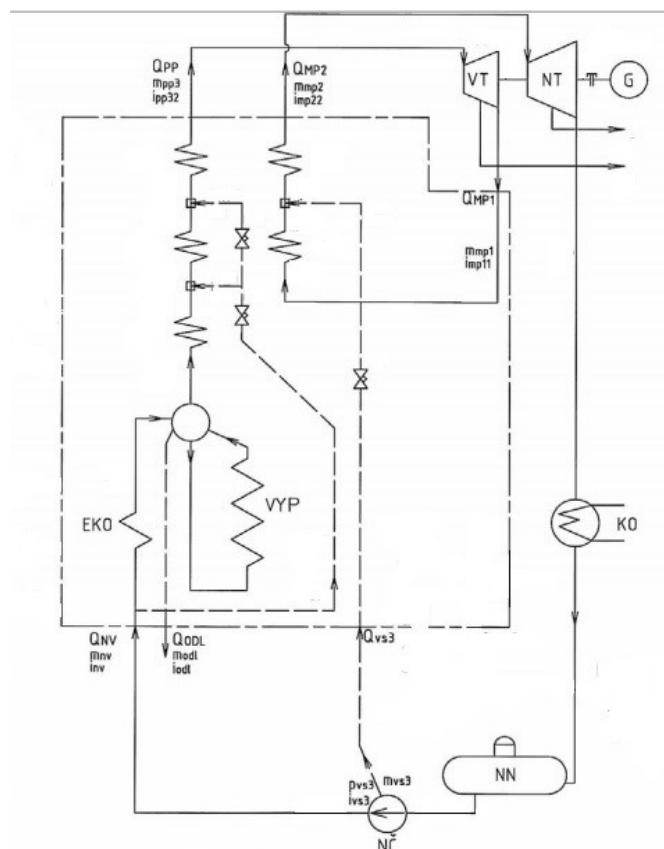
Schéma výroby páry je znázorněno na obr.3.2.. Voda do kotle vstupuje do druhého tahu, kde se v ohříváku vody ohřívá, poté je vedena do výparníku, který je proveden jako stěny spalovací komory. Zde se voda postupně vypaří a z výparníku vystupuje mírně přehřátá pára. Tato se dále přehřívá ve 4 přehřívácích, regulovaných 3 vstříky na teplotu 540°C při tlaku 17,4MPa. Tato vyrobená pára je vedena do vysokotlakého dílu turbíny výstupu z posledního přehříváku se pára vede do vysokotlaké části turbíny a po následném vyexpandování se vrací do mezipřehříváku kotle MP.Středotlaká pára prochází přes záchytné a rýchlzávěrné ventily do středotlakého dílu turbíny a z něj přímo do nízkotlakého dílu.Po výstupu z turbíny pára kondenzuje ve dvoucestném kondenzátoru.V trubkových svazcích kondenzátoru proudí chladicí voda, která se tímto průchodem ohřeje o 10°C. Ohřátá chladicí voda se chladí v chladících věžích, chladicí okruh se doplňuje vodou z reky Olše. Vzniklý kondenzát se kondenzačními čerpadli KČ vede přes nízkotlaké ohříváky NTO do nádrže napájecí vody NNV, viz. Obr 3.1.



Obrázok3.2.Schéma kotle :voda-pára

4. Výrobní Teplo:

Tento text je zpracován na základě literatury [1] a [5]



Obr.4. Zjednodušené schéma parního kotle s přirozenou cirkulací

Na obr.4. je zjednodušené schéma parního kotle s přirozenou cirkulací vody ve výparníku a mezipřehříváním páry, který pracuje pro parní turbínu s vysokotlakou a nízkotlakou částí. Napájecí vodu o teplotě 105 až cca 250°C dopravuje do kotle napájecí čerpadlo NČ. Voda nejdříve vstupuje do ohříváku vody EKO, odtud se ohřátá voda vede potrubím do bubnu, který je součástí výparníku kotle VYP. V bubnu se odloučí voda a pára. Sytá pára se vede nejdříve do přehříváku, který zvyšuje entalpii páry, potažmo její teplotu, na žádanou hodnotu. Táto pára se pak vede na vysokotlakou část parní turbíny. Mezipřehřívák je vřazen do spalínového traktu kotle a dohřívá páru expandovanou ve vysokotlaké části turbíny na teplotu s níž pára vstupuje do nízkotlaké turbíny. Na obrázku je čerchovaně naznačena oblast kotle s jednotlivými tepelnými vstupy a výstupy ze kterých se stanoví výrobní teplo kotle.

Výrobní teplo páry, které může být též označeno jako celkový tepelný výkon kotle, je tá část vložené energie, která se musí pracovnímu médiu (voda nebo pára) o daných vstupních parametrech předat, aby se dosáhli jeho požadované výstupní parametry. Rovnice výrobního tepla vychází z hmotnostní a tepelné bilance složek vstupujících a vystupujících do systému parního kotle.

Hmotnostní bilance kotle spočívá v kvantitativním vyjádření všech do kotle vstupujících a vystupujících hmotnostních toků pracovních médií.

Hmotnostní bilance pracovních médií:

$$\dot{m}_{NV} + \dot{m}_{VS3} + \dot{m}_{mp1} = \dot{m}_{pp3} + \dot{m}_{mp1} + \dot{m}_{ODL} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{rovnice 4.1})$$

Kde:

\dot{m}_{NV} je množství napájecí vody [kg/s]

\dot{m}_{VS3} je množství regulační vstřikované vody [kg/s]

\dot{m}_{pp3} je průtok ostré páry, resp. parní výkon kotle [kg/s]

\dot{m}_{mp1} je množství nízkotlaké páry [kg/s]

\dot{m}_{ODL} je množství odluhované vody z bubnu [kg/s]

Tepelná bilance kotle spočívá v kvantitativním a kvalitativním vyjádření všech do kotle vstupujících a vystupujících tepelných toků. Tepelná bilance pracovních médií:

$$Q_{NV} + Q_{VS3} + Q_{MP1} = Q_{PP} + Q_{MP2} + Q_{ODL} \quad [\text{kW}] \quad (\text{rovnice 4.2})$$

Kde:

Q_{NV} je teplo přivedené napájecí vodou které se může zapsat jako:

$$Q_{NV} = \frac{m_{NV}}{m_{pal}} \cdot 4,19 \cdot (i_{NV} - i_{VZ}) \quad [\text{kJ/kg}_{pal}] \quad (\text{rovnice 4.3})$$

Q_{MP1} je teplo nízkotlaké páry po expanzi na vysokotlakém dílu turbín, která je určená pro přehřátí a následné využití na nízkotlakém dílu turbíny. Toto teplo můžeme zapsat:

$$Q_{MP1} = \frac{m_{mp1}}{m_{pal}} \cdot (i_{mp1} - i_{vz}) \quad [\text{kJ/kg}_{pal}] \quad (\text{rovnice 4.4})$$

Q_{VS3} je teplo přivedené vstřikovanou vodou do mezipřehřáté páry, které se může zapsat jako:

$$Q_{VS3} = \frac{m_{VS3}}{m_{pal}} \cdot (i_{VS3} - i_{vz}) \quad [\text{kJ/kg}_{pal}] \quad (\text{rovnice 4.5})$$

Q_{PP} je teplo přehřáté páry ovedené z kotle [kJ/kg_{pal}]

Q_{MP2} je teplo přehřáté páry odvedené z kotle [kJ/kg_{pal}]

Q_{ODL} je teplo odvedené z kotle odluhem [kJ/kg_{pal}]

Rozepsáním bilančních rovnic (4.1)a(4.2)dostaneme rovnici: (rovnice 4.6)

$$m_{NV} \cdot \Delta i_{NV} + m_{VS3} \cdot \Delta i_{VS3} + m_{mp1} \cdot \Delta i_{mp11} = m_{pp3} \cdot \Delta i_{pp32} + m_{mp2} \cdot \Delta i_{mp22} + m_{ODL} \cdot \Delta i_{ODL}$$

Kde v rovnici jsou rozdíly entalpií médií Δi_x vztaženy k entalpii média při vztažné teplotě t_{vz} (to znamená k entalpii vody při teplotě 20°C dle normy ČSN, případně při jiné dohodnuté teplotě)

Rozdílem tepla pracovního média z kotle vystupujícího a tepla do kotle vstupujícího dostaneme vztah pro výrobní teplo kotle:

$$Q_{VYR} = m_{pp3} \cdot (i_{pp32} - i_{NV}) + (m_{mp2} - m_{VS3}) \cdot (i_{mp22} - i_{mp11}) + m_{VS3} \cdot (i_{mp22} - i_{VS3}) + m_{ODL} \cdot (i'_W - i_{NV}) \quad [\text{kW}] \quad (\text{rovnice 4.7})$$

Kde:

i_{pp32} je entalpie páry na výstupu z přehříváku [kJ/kg]

i_{mp22} je entalpie páry na výstupu z mezipřehříváku [kJ/kg]

i_{mp11} je entalpie páry na vstupu do mezipřehříváku [kJ/kg]

i_{VS3} je entalpie vody vstřikované do přehřáté páry [kJ/kg]

i'_W je entalpie syté vody odluhované z bubnu [kJ/kg]

i_{NV} je entalpie napájecí vody [kJ/kg]

Tento výraz je zcela obecný a pro konkrétní zařízení jej lze často zjednodušit vynecháním bezpředmětných členů. Třetí součin v rovnici vyjadřuje teplo potřebné na ohřátí množství regulační vstřikované vody m_{VS3} pro mezipřehřívanou páru z entalpie vody z odběru napájecího čerpadla na entalpii páry za mezipřehřívákem. U vstřikované přehřáté páry se tento člen neuplatňuje, protože voda pro vstřik se odebírá v rámci kotle. Poslední člen rovnice udává množství odluhované vody a teplo které se vložilo do ohřevu této vody. Pokud by se z bubnu realizoval odběr síte páry, muselo by se teplo dodané tomuto odebranému množství objevit i v rovnici výrobního tepla. K rovnici by se pak přičetl ještě následovný člen:

$$m_{op} \cdot (i''_p - i_{NV}) \quad [\text{kW}] \quad (\text{rovnice 4.8})$$

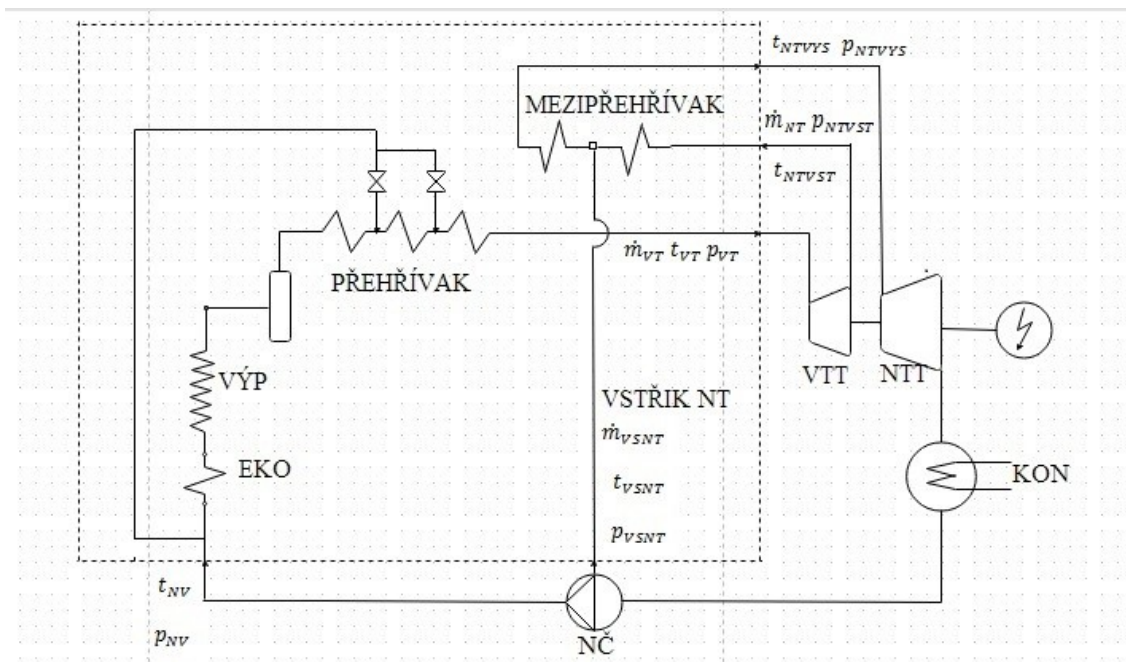
Kde:

i''_p je entalpie syté páry odebrané z bubnu [kJ/kg]

m_{op} je množství odebrané syté páry [kg/s]

4.1.Výpočet výrobního tepla pro průtočný kotel bloku 200 MW

Na obr.3.1. je znázorněno zjednodušené schéma výroby tepla v průtočném kotli a naznačená oblast, pro kterou si stanovím energetickou bilanci.



Obr.4.1,Schéma výroby tepla v průtočném kotli

Do výparníku kotle VÝP vstupuje napájecí voda, ze které se vyrábí pára. Po průchodu vysokotlakou částí turbíny VTT se část páry vede do mezipřehříváku páry a zbytek se odebere na různé technologické účely. Přihřátá pára, do které se ještě vstřikuje určité množství vody (vstřík), se z přehříváku vede na nízkotlakou část turbíny NTT. Po expanzi pára zkondenzuje v kondenzátoru KON a vrací se do napájecí nádrže. Z té se napájecím čerpadlem NČ voda čerpá přes ohřívák vody EKO do kotle a tím se kruh uzavírá.

Dle zadaných hodnot teploty a tlaku stanovím hodnoty měrných entalpií. Tyto hodnoty jsem získal z literatury[8].

Entalpie napájecí vody(250°C ; 22,1MPa)	$i_{NV} = 1085,7$	$kJ.kg^{-1}$
Entalpie vstříku do NT páry(163°C ; 5,53MPa)	$i_{VSNT} = 688,63$	$kJ.kg^{-1}$
Entalpie VT páry(540°C ; 17,4MPa)	$i_{VT} = 3395,2$	$kJ.kg^{-1}$
Entalpie NT páry – vstup(337°C ; 3,83MPa)	$i_{NTVST} = 3073,1$	$kJ.kg^{-1}$
Entalpie NT páry – výstup(540°C ; 3,63MPa)	$i_{NTVYS} = 3541,2$	$kJ.kg^{-1}$

Hmotnostní toky páry a vody musím převést z $t \cdot h^{-1}$ na $kg \cdot s^{-1}$:

Množství vysokotlaké páry:

$$\dot{m}_{VT} = 650 \quad t \cdot h^{-1} = 180,556 \quad kg \cdot s^{-1}$$

Množství napájecí vody, je stejné jako množství vysokotlaké páry.

$$\dot{m}_{NV} = 650 \quad t \cdot h^{-1} = 180,556 \quad kg \cdot s^{-1}$$

Množství nízkotlaké páry na vstupu do přehříváku:

$$\dot{m}_{NTVST} = 548,5 \quad t \cdot h^{-1} = 152,361 \quad kg \cdot s^{-1}$$

Množství vstřiku do nízkotlaké páry:

$$\dot{m}_{VSNT} = 31,478 \quad t \cdot h^{-1} = 8,744 \quad kg \cdot s^{-1}$$

Množství nízkotlaké páry na výstupu do přehříváku:

$$\dot{m}_{NTVYS} = \dot{m}_{NTVST} + \dot{m}_{VSNT} = 548,5 + 31,478 = 579,978 \quad t \cdot h^{-1} = 161,105 \quad kg \cdot s^{-1}$$

Rozdílem tepla pracovního média z kotle vystupujícího a tepla do kotle vstupujícího výpočtu výrobní teplo kotle:

$$Q_{výr} = (\dot{m}_{VT} \cdot i_{VT}) + (\dot{m}_{NTVYS} \cdot i_{NTVYS}) - (\dot{m}_{NV} \cdot i_{NV}) - (\dot{m}_{VSNT} \cdot i_{NTVST}) - (\dot{m}_{NTVST} \cdot i_{NTVST}) \quad (4.9)$$

Po dosazení do bilanční rovnice (4.9) je výrobní teplo kotle:

$$Q_{výr} = (180,556 \cdot 3395,2) + (161,105 \cdot 3541,2) - (180,556 \cdot 1085,7) - (8,744 \cdot 688,63) - (152,361 \cdot 3073,1)$$

$$Q_{výr} = 513\,257 \text{ kW}$$

$$Q_{výr} = 513,2 \text{ MW}$$

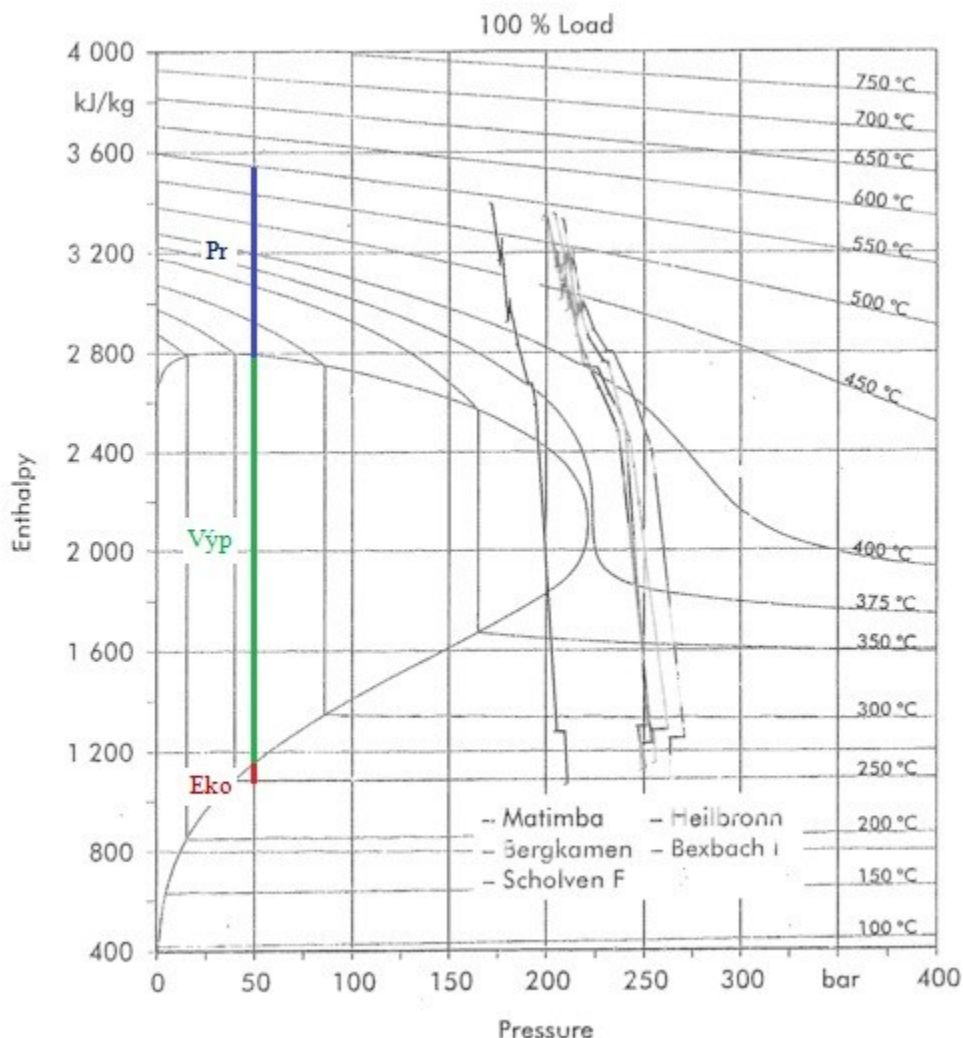
Výrobní teplo kotle je 513,2 MW

Ze získaného výrobního tepla se může stanovit množství paliva a vypočítat tepelná účinnost kotle přímou metodou. Poměr výrobního tepla k teple přivedenému do kotle je právě tepelná účinnost kotle.

5. Analýza vlivu tlaku na jednotlivé části parního kotle:

Na obr.5.1 je rozdělení výrobního tepla průtočného kotle Benson.

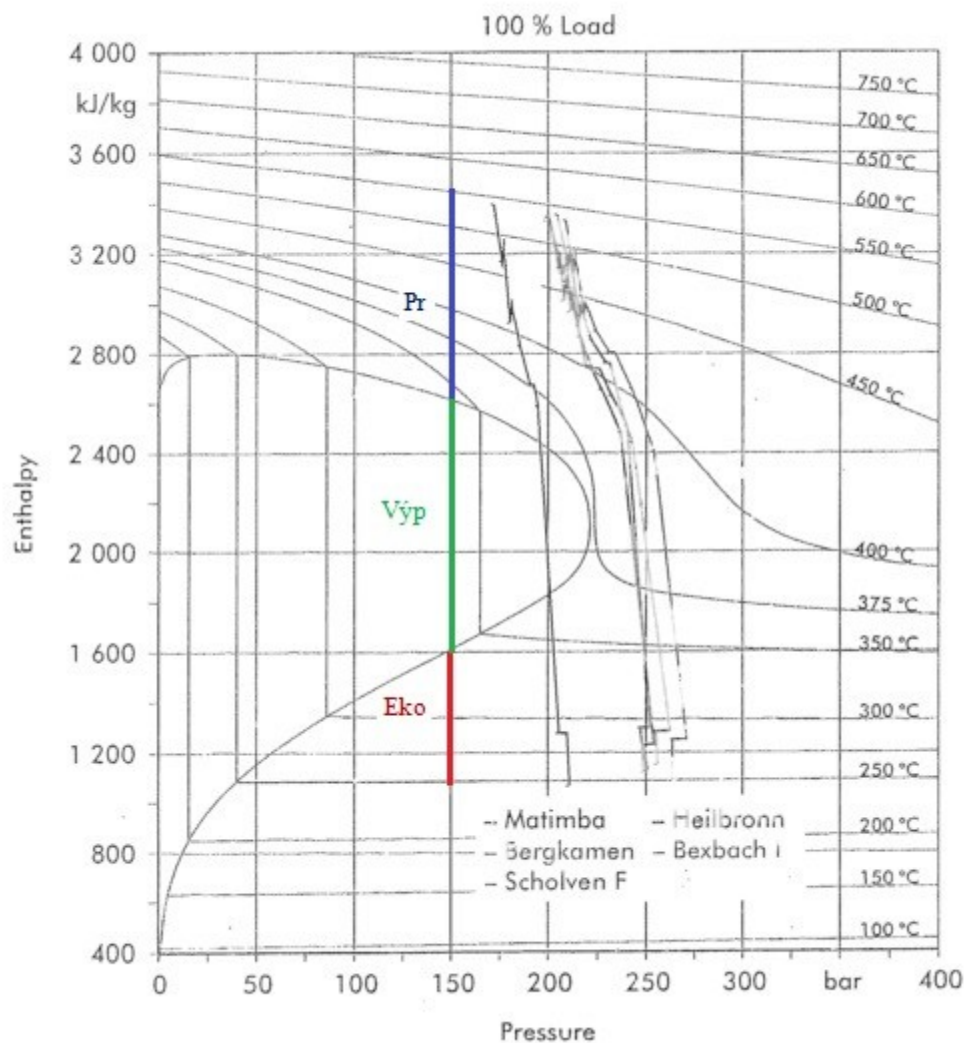
Vstupní tlak napájecí vody sem si zvolil 5 MPa o teplotě 250°C, výstupní teplota páry je 550°C.



Obr.5.1. rozdělení výrobních tepel průtočného kotle Benson

Zvolený tlak 5MPa

V tomto případě je teplo které musí předat ekonomizér (červeně) napájecí vodě velmi malé. Tlaková ztráta ohříváku vody by byla velmi malá. Teplo které by se muselo vodě předat ve výparníku (zeleně) aby vynikla síťá pára by bylo velmi velké, tlaková ztráta výparníku by byla velká. Teplo potřebné k přehřátí páry je naznačeno modrou barvou.



Obr.5.2 rozdělení výrobních tepel průtočného kotle Benson

Zvolený tlak 15MPa

V případě kdyby byl tlak napájecí vody 15 MPa, bylo by teplo předané v ekonomizéru vode mnohonásobně větší než v předchozím případě . Tlaková ztráta ekonomizéru by byla větší. K vypaření vody ve výparníku by stačilo dodat téměř poloviční teplo než v předchozím případě, tlaková ztráta by byla menší .K přehřátí páry v přehříváku by bylo teplo dodané přehříváku větší než u prvního případu.

6. Závěr

V úvodu této práce jsem uvedl základní rozdělení kotlu. Následně jsem vypracoval rešerži na rozdělení kotlů podle průtoku vody ve výparníku, ve které jsem detailněji popsal kotel přirozenou cirkulací vody ve výparníku a kotle průtočné s pohyblivým a pevným koncem odpařování vody ve výparníku.

V následující kapitole jsem uvedl základní popis elektrárny Dětmarovice, její postavení v rámci společnosti ČEZ a popsal jsem průtočný kotel typu Benson používaného v elektrárně Dětmarovice.

V další kapitole jsem definoval a vysvětlil pojem výrobní teplo, které je důležité například pro stanovení množství paliva nebo pro výpočet tepelné účinnosti kotle přímou metodou. Podle zadaných parametrů páry a vody, jsem následně spočítal výrobní teplo kotle Benson v elektrárně Dětmarovice, které činí přibližně 513,2 MW.

Na závěr mé práce jsem provedl analýzu vlivu tlaku na jednotlivé části průtočného kotle. V příloze č.1 jsem navrhl tlakový systém průtočného kotle s pohyblivým koncem odpařování a v příloze č.2 je tlakový systém průtočného kotle s pevným koncem odpařování.

Seznam použité literatury

- [1] DLOUHÝ, Tomáš. Výpočty kotlů a spalných výměníků. Praha : ČVUT, 2007.
- [2] VILIMEC, Ladislav. Stavba kotlů I.. Ostrava : VŠB-TU, 2002.
- [3] VILIMEC, Ladislav. Řízení a Regulace energetických zařízení : VŠB-TU, 2008..
- [4] http://aladin.elf.stuba.sk/Katedry/KMECH/slovakversion/Predmety/ELEKTRARNE_I/prednasky/prednaska2/prednaska2.htm#ag
- [5] <http://projekty.fs.vsb.cz/414/parni-kotle.pdf> ,kapitola 3.2.2-Výrobní teplo kotle
- [6] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31169
- [7] MAREŠ, Radim . Tabulky termodynamických vlastností vody a vodní páry Plzeň : ZCU, 2008.

Seznam Příloh

Příloha č. 1: Schéma tlakového systému kotle s pohyblivým koncem odpařování

Příloha č. 2: Schéma tlakového systému kotle s pevným koncem odpařování